

Karakteristik optimum beton mutu tinggi dengan penambahan serbuk kaca

Ilham Nuruddin¹, Mochamad Teguh^{2,*}, dan Elvis Saputra³

^{1,2,3} Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

Article Info

Article history:

Received: May, 13 2023

Revised: May, 29 2023

Accepted: May, 30 2023

Available online: May, 31 2023

Keywords:

Glass powder

Superplasticizer

High-strength concrete

Corresponding Author:

Mochamad Teguh,
m.teguh@uii.ac.id

Abstract

Concrete material innovation is one of the most used in construction nowadays. Along with the infrastructure growth, the amount of waste increases, such as glass waste. The glass waste contains silica and can be used as filler in the concrete mixture. This study aimed to determine the influence of added glass powder as filler on high-strength concrete. This research method was a laboratory experiment testing high-strength concrete to seek optimum characteristics of high-strength concrete based on the glass powder composition added. The optimum concrete characteristics consist of compressive strength, tensile strength, and modulus of elasticity for five samples with different material compositions shown in Table 3, and each sample comprised 6 (six) specimens tested. This study found that the second sample achieved the optimum compressive strength of concrete with 47.07 MPa, more significant than the compressive strength design (f_{cr}) of 45 MPa. The optimum tensile strength produced 3.91 MPa or 8.3%, which correlated to the compressive strength of the BSK2 sample. Similarly, the optimum modulus of elasticity was then computed based on laboratory compressive strength tests referring to SNI 2847:2019 and the ASTM C-469-94, resulting in 33271.7 MPa dan 36164.95 MPa, respectively. In contrast, the modulus elasticity calculated based on the weight volume of concrete referring to SNI 2847:2019 has reached the highest elasticity modulus on the first sample with 34384.8 MPa.

Copyright © 2023 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Pembangunan infrastruktur di Indonesia mengalami peningkatan yang begitu pesat. Dalam proyek konstruksi, beton merupakan salah satu bahan utama. Menurut SNI-03-2834-2000, beton merupakan campuran antara semen portland (PC) atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan-tambah untuk membentuk massa padat.

Seiring dengan begitu pesatnya pembangunan di berbagai wilayah di Indonesia, limbah masih menjadi salah satu permasalahan yang serius dan perlu ditangani dengan inovasi serta dimanfaatkan dengan baik. Salah satu limbah

yang masih banyak dijumpai adalah limbah kaca. Limbah kaca dapat diolah menjadi serbuk kaca. Kandungan serbuk kaca antara lain SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , dan CaO memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan pengganti semen (Hanafiah, 2011). Kandungan silika yang terdapat dalam kaca memberikan pengaruh terhadap semen. Semakin banyak silika yang terdapat dalam semen, maka nilai kuat tekan beton akan semakin tinggi (Darmawan dkk., 2007).

Penelitian mengenai beton serbuk kaca telah dilakukan seperti oleh Aliabdo dkk. (2016) dan Apriwelni & Wirawan (2020). Penelitian tersebut memvariasikan kadar serbuk kaca sebagai *filler* pada campuran beton. Aliabdo

dkk. (2016) meneliti pengaruh serbuk kaca sebagai *filler* pada campuran beton dengan mutu rencana 33 MPa dan 45 MPa. Variasi kadar serbuk kaca yang digunakan adalah 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% dari berat semen. Serbuk kaca yang digunakan adalah sisa-sisa potongan kaca yang lolos saringan no. 200. Pengujian dilakukan pada umur 7, 28, dan 56 hari. Hasilnya pada umur 28 hari, beton dengan kuat tekan rencana 33 MPa, serbuk kaca mencapai kadar optimum sebesar 15% dengan kuat tekan beton 37,90 MPa. Untuk beton dengan kuat tekan rencana 45 MPa, kadar serbuk kaca optimum adalah 20% dengan kuat tekan beton 49,21 MPa.

Apriwelni & Wirawan (2020) memvariasikan serbuk kaca sebagai bahan pengisi dengan *fly ash* pada campuran beton dengan mutu rencana 45 MPa. Serbuk kaca yang digunakan berasal dari kaca limbah tidak terpakai dan botol kaca yang lolos saringan no. 50, no. 100, dan no. 200. Kadar serbuk kaca yang digunakan adalah 5% dan 10% dari berat semen. Variasi *fly ash* yang digunakan adalah 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat semen. Penggunaan *fly ash* mensubstitusi kadar semen yang digunakan. Hasilnya nilai kuat tekan beton variasi 0% *fly ash* + 10%, serbuk kaca pada umur 28 hari paling optimum, yaitu sebesar 46,77 MPa.

Proses penerapan beton dalam proyek konstruksi harus diperhatikan dengan saksama. Pengerjaan beton dapat dilakukan dengan lebih mudah dan kekuatan beton dapat meningkat antara lain dengan menambahkan *superplasticizer* (Afif, 2019). *Superplasticizer* berfungsi untuk meningkatkan *workability* dari campuran beton. *Superplasticizer* menyebabkan campuran beton mudah mengalir sesuai dengan takaran yang tepat. Selain kemudahan dalam pengerjaan (*workability*), penggunaan *Superplasticizer* juga dapat meningkatkan kuat tekan beton.

Penelitian yang dilakukan oleh Hadori dkk. (2015) memvariasikan jenis dan kadar *superplasticizer* pada beton dengan penambahan *fly ash*. Variasi *superplasticizer* yang digunakan adalah 0,3%, 0,6%, 0,9%, 1,2%, dan 1,5%.

Jenis *superplasticizer* yang digunakan adalah produk Sika (Viscocrete 10), BASF (Glanium 8370), dan Normet (60 RW). Hasilnya pada umur 28 hari, nilai kuat tekan beton optimum pada variasi 0,3% *superplasticizer* adalah 42,81 MPa. Nilai tersebut meningkat 17,84% dibandingkan dengan variasi beton normal. Penelitian yang dilakukan oleh Nst (2017) menggunakan komposisi *superplasticizer* sebesar 0,8%, 1%, 1,2%, 1,4%, dan 1,6% dari berat semen pada campuran beton *Self Compacting Concrete* (SCC) dengan *silica fume* sebesar 10% dari berat semen. Mutu beton rencana sebesar 41,4 MPa dan umur beton 28 hari. Hasilnya nilai kuat tekan optimum pada variasi SCC-3 pada kadar *superplasticizer* 1,2% adalah 43,063 MPa.

Penggunaan *silica fume* dapat meningkatkan kekuatan beton. *Silica fume* memiliki kandungan *amorphous silica* yang tinggi, sehingga dapat meningkatkan kekuatan beton. *Silica fume* bereaksi baik dengan semen, sehingga dapat membuat struktur beton lebih padat (Gražulytė dkk. 2020). Penelitian yang dilakukan oleh Gražulytė dkk. (2020) membedakan kadar *silica fume* sebesar 0%, 7%, dan 10% dari berat semen dan digunakan sebagai bahan pengisi. Hasilnya didapatkan nilai kuat tekan beton optimum sebesar 60,4 MPa pada kadar penambahan *silica fume* 7%.

Berdasarkan penjelasan dari beberapa penelitian di atas, maka pada penelitian ini digunakan bahan-tambah serbuk kaca sebagai *filler*. *Silica fume* dan *superplasticizer* ditambahkan dalam campuran beton mutu tinggi dengan mutu rencana 45 MPa. Kadar serbuk kaca yang ditambahkan sebesar 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% dari berat semen. *Silica fume* dan *superplasticizer* yang digunakan merupakan produk PT. Sika Indonesia dengan jenis Sika-Fume dan Viscocrete 3115N. Kadar *silica fume* yang digunakan adalah 10% dari berat semen dan *superplasticizer* yang digunakan adalah 0,3% dari berat semen.

Metode penelitian

Material penyusun

Material penyusun yang dipergunakan dalam campuran beton mutu tinggi pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Material penyusun campuran beton mutu tinggi

Material	Keterangan
Semen Portland	Semen tipe 1 dengan berat jenis 3,15 kg/m ³
Agregat halus	Agregat yang butirannya lolos saringan 4,8 mm
Agregat kasar	Agregat yang butirannya antara 4,8 mm sampai 20 mm
Air	Bahan yang digunakan untuk membuat semen menjadi pasta
Serbuk kaca	Kaca bening yang mengandung slika berukuran 200 mesh
<i>Silica fume</i>	Mengandung <i>amorphous silica</i> yang tinggi sehingga dapat meningkatkan kekuatan beton
<i>superplasticizer</i>	Zat yang berperan untuk meningkatkan kemampuan mengalir beton

Selanjutnya *mix design* yang dirujuk dalam penelitian ini didasarkan pada SNI-03-6468-2000. Hasil perencanaan komposisi per satuan m³ beton dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil *mix design* beton mutu tinggi

Material	Berat (kg)	Satuan
Semen Portland	619	kg
Agregat halus	405	kg
Agregat kasar	1073	kg
Air	229	kg
<i>Silica fume</i>	56,7	kg
<i>superplasticizer</i>	1,7	kg

Komposisi pada Tabel 2 kemudian dikalikan dengan persentase rencana penambahan serbuk kaca dan penyusutan sebesar 25%. Hasil *mix design* akhir dapat dilihat pada Tabel 3.

Terdapat 6 (enam) komposisi campuran dalam penelitian ini (Tabel 3) terdiri dari satu komposisi beton mutu tinggi standar tanpa ditambah serbuk kaca atau 0% (BN), dan empat komposisi beton mutu tinggi standar ditambah dengan serbuk kaca dengan persentase kelipatan 2,5%, yaitu: 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% (BSK-1 sampai dengan BSK-4). Setiap komposisi dibuat 6 (enam) buah sampel untuk diuji karakteristiknya.

Tabel 3. Hasil *mix design* kebutuhan total beton per-m³

No. kode sampel	Jumlah sampel (buah)	Volume (m ³)	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Air (kg)	Serbuk kaca		<i>Superplasticizer</i>		<i>Silica fume</i>	
							Berat (kg)	%	Berat (kg)	%	Berat (kg)	%
1. BN	6	0,032	22,15	16,10	42,66	9,03	0	0	0,074	0,3	2,461	10
2. BSK1	6	0,032	22,15	16,10	42,66	9,03	0,83	2,5	0,074	0,3	2,461	10
3. BSK2	6	0,032	22,15	16,10	42,66	9,03	1,66	5	0,074	0,3	2,461	10
4. BSK3	6	0,032	22,15	16,10	42,66	9,03	2,49	7,5	0,074	0,3	2,461	10
5. BSK4	6	0,032	22,15	16,10	42,66	9,03	3,32	10	0,074	0,3	2,461	10

Keterangan:

BN : Campuran beton dengan penambahan serbuk kaca 0%.

BSK1 : Campuran beton dengan penambahan serbuk kaca 2,5%.

BSK2 : Campuran beton dengan penambahan serbuk kaca 5%.

BSK3 : Campuran beton dengan penambahan serbuk kaca 7,5%.

BSK4 : Campuran beton dengan penambahan serbuk kaca 10%.

Material penyusun

Metode penelitian dalam penelitian digunakan pengujian eksperimen di laboratorium bahan konstruksi. Penelitian diawali dengan pemeriksaan sifat-sifat material bahan penyusun campuran beton meliputi semen,

agregat halus, agregat kasar, air, dan bahan-tambah. Selanjutnya dirancang *mix design*, pembuatan benda uji, dan perawatan benda uji. Setelah benda uji mencapai umur 28 hari dilakukan pengujian kuat tekan beton, kuat tarik belah beton, dan modulus elastisitas.

Standar yang digunakan sebagai acuan dalam kelayakan material penyusun beton adalah SNI 1670:2008 untuk pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus, dan SNI 1696:2008 digunakan untuk pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar. Standar yang digunakan untuk *mix design* campuran beton adalah SNI 03-6468-2000. Pengujian kuat tekan mengacu SNI 1974-2011, kuat tarik belah merujuk SNI 03-2491-2014, dan modulus elastisitas mengadopsi ASTM C-469-94 serta SNI-2847-2019.

Variasi bahan-tambah yang dipakai dalam penelitian ini adalah serbuk kaca sebagai *filler* dengan komposisi masing-masing: 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10% dari berat semen. Untuk mencapai kuat tekan beton mutu tinggi yang direncanakan telah dilakukan *mix design* melalui uji coba dan menghasilkan komposisi campuran beton dengan pemakaian *silica fume* sebesar 10% dari berat semen sebagai pengganti semen dan *superplasticizer* sebesar 0,3% dari berat semen digunakan setiap sampel benda uji. Nilai *slump* rencana yang dipakai adalah 75-100 mm. Tabel 4 menunjukkan rincian jumlah benda uji dan jenis pengujian kuat tekan dan kuat tarik.

Tabel 4. Rincian sampel benda uji

No. kode sampel	Kandungan (%)			Jenis pengujian	
	Serbuk kaca	<i>Silica fume</i>	<i>Super plasti cizer</i>	Kuat tekan dan modulus elastisitas	Kuat tarik belah
1. BN	0	10	0,3	3	3
2. BSK1	2,5	10	0,3	3	3
3. BSK2	5	10	0,3	3	3
4. BSK3	7,5	10	0,3	3	3
5. BSK4	10	10	0,3	3	3

Hasil dan pembahasan

Pengujian slump

Hasil pengujian *slump* dapat dilihat pada Tabel 5. Nilai *slump* yang didapatkan paling tinggi 100 mm dan paling rendah 90 mm. Nilai ini telah sesuai dengan nilai *slump* rencana yaitu sebesar 75-100 mm. Nilai *slump* ini tergolong sedang menurut Neville & Brooks (1987), dan nilai *slump* menurun seiring dengan penambahan serbuk kaca.

Tabel 5. Hasil pengujian *slump*

No	Benda uji	Nilai slump (mm)
1	BN	100
2	BSK1	100
3	BSK2	96
4	BSK2	92
5	BSK4	90

Pengujian kuat tekan beton

Pengujian dilaksanakan setelah benda uji silinder berukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm berumur 28 hari. Pengujian dilakukan dengan menekan silinder dengan mesin *Compression Testing Machine* (CTM). Rincian hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 6.

Beton kontrol (BN) yang digunakan sebagai acuan memiliki nilai kuat tekan rerata 46,12 MPa. Beton dengan bahan-tambah serbuk kaca sebagai *filler*, mencapai nilai kuat tekan rerata tertinggi pada variasi BSK2 (5% serbuk kaca) dengan nilai 47,07 MPa. Nilai ini meningkat 2,06% dari kuat tekan beton kontrol mutu tinggi. Nilai kuat tekan rerata beton dengan bahan-tambah terendah berada pada variasi BSK4 (10% serbuk kaca) dengan nilai 35,55 MPa. Nilai ini menurun sebesar 22,92% dari kuat tekan beton kontrol mutu tinggi.

Pada variasi BSK1 (2,5% serbuk kaca), terjadi penurunan mutu beton. Nilai kuat tekan rerata beton BSK1 adalah 45,26 MPa. Nilai ini menurun sebesar 1,86% dari nilai kuat tekan beton kontrol mutu tinggi. Penurunan mutu ini relevan dengan penelitian terdahulu oleh Sejati & Gunawan (2019). Pada penelitian Sejati & Gunawan (2019), beton normal mencapai mutu 22,54 MPa. Mutu beton kemudian meningkat pada variasi 15% (27 MPa) dengan kekuatan 27 MPa, kemudian menurun seiring dengan penambahan serbuk kaca hingga mencapai 25%. Pada penelitian tersebut, nilai mutu beton naik kembali pada penambahan serbuk kaca sejumlah 30% dengan kuat tekan 24,99 MPa.

Nilai kuat tekan beton yang bervariasi ini terjadi karena sejumlah faktor, seperti proses pembuatan dan penggunaan bahan-tambah serbuk kaca. Serbuk kaca yang dipakai berasal

dari limbah botol kaca dan kaca bening berukuran 200 *mesh* atau 74 μm . Serbuk kaca bersifat pozzolan, yang berarti mengandung silika dan alumina yang bisa meningkatkan kekuatan semen dengan membentuk kalsium silikat dan *calcium aluminate hydrate* dari reaksi pozzolan dan kalsium hidroksida dalam semen dan air (Susanti dkk. 2019). Penambahan serbuk kaca 5% meningkatkan mutu beton. Peningkatan mutu beton tidak signifikan. Pada variasi 7,5% dan 10%, mutu beton justru menurun. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa factor, antara lain

kualitas serbuk kaca bukan berasal dari limbah kaca *pyrex* (kualitas lebih baik dari kaca biasa), dan proses pemadatan yang kurang sempurna. Bentuk permukaan beton pada variasi BSK4 dan BSK5 cembung ketika campuran beton dilepas dari cetakan. Kondisi ini berpengaruh pada mutu beton dan berakibat mutu beton mengalami penurunan. Penurunan mutu ini dapat disebabkan juga oleh potensi penggumpalan partikel serbuk kaca dalam campuran beton dengan jumlah serbuk kaca yang tinggi (Aliabdo dkk. 2016).

Tabel 6. Hasil pengujian kuat tekan beton

No. kode sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Variasi Campuran (%)			Beban maksimum (kN)	Luas (mm ²)	Kuat tekan (MPa)	
			Serbuk kaca	<i>Silica fume</i>	<i>Superplasticizer</i>			Unit	Rerata
1. BN	149,63	302,13	0	10	0,3	810	17585,17	46,06	46,12
	150,20	301,13	0	10	0,3	825	17718,61	46,56	
	150,63	301,97	0	10	0,3	815	17821,00	45,73	
2. BSK1	152,83	302,67	2,5	10	0,3	825	18345,35	44,97	45,26
	149,73	304,27	2,5	10	0,3	815	17608,68	46,28	
	151,70	304,23	2,5	10	0,3	805	18074,28	44,54	
3. BSK2	154,10	301,97	5	10	0,3	865	18650,70	46,38	47,07
	151,40	301,70	5	10	0,3	870	18002,87	48,33	
	153,00	304,53	5	10	0,3	855	18385,39	46,50	
4. BSK3	152,07	305,03	7,5	10	0,3	710	18161,76	39,09	38,70
	151,13	304,27	7,5	10	0,3	685	17939,50	38,18	
	151,53	305,57	7,5	10	0,3	700	18034,59	38,81	
5. BSK4	155,70	309,57	10	10	0,3	650	19040,01	34,14	35,55
	153,57	309,30	10	10	0,3	675	18521,83	36,44	
	153,80	309,73	10	10	0,3	670	18578,15	36,06	

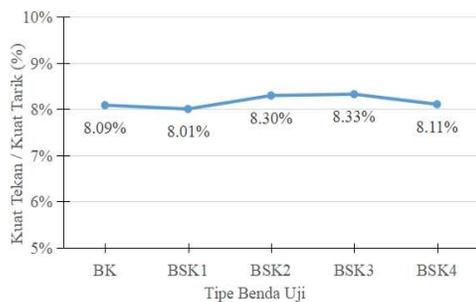
Tabel 7. Hasil pengujian kuat tarik belah beton

No. kode sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Variasi Campuran (%)			Beban Maksimum (kN)	Luas (mm ²)	Kuat Desak (MPa)	
			Serbuk Kaca	<i>Silica fume</i>	<i>Superplasticizer</i>			Unit	Rerata
1. BN	15,03	30,35	0%	10%	0,3%	245	143338,83	3,42	3,73
	15,05	30,39	0%	10%	0,3%	260	143718,69	3,62	
	15,01	30,13	0%	10%	0,3%	295	142110,49	4,15	
2. BSK1	15,28	30,31	2,5%	10%	0,3%	270	145546,46	3,71	3,62
	14,97	30,27	2,5%	10%	0,3%	255	142374,75	3,58	
	15,17	30,49	2,5%	10%	0,3%	260	145293,24	3,58	
3. BSK2	15,16	30,34	5%	10%	0,3%	285	144530,71	3,94	3,91
	15,32	30,64	5%	10%	0,3%	270	147451,82	3,66	
	14,97	30,52	5%	10%	0,3%	295	143566,43	4,11	
4. BSK3	15,14	30,40	7,5%	10%	0,3%	240	144561,85	3,32	3,22
	15,36	30,40	7,5%	10%	0,3%	225	146662,95	3,07	
	15,21	30,40	7,5%	10%	0,3%	238	145246,31	3,28	
5. BSK4	15,45	30,92	10%	10%	0,3%	210	150062,08	2,80	2,88
	15,08	30,96	10%	10%	0,3%	195	146721,89	2,66	
	15,33	30,61	10%	10%	0,3%	235	147403,59	3,19	

Pengujian kuat tarik belah beton

Pengujian dilaksanakan setelah benda uji silinder berukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm berumur 28 hari. Pengujian dilakukan dengan mesin *Compression Testing Machine* (CTM). Hasil pengujian kuat tarik belah beton dapat dilihat pada Tabel 7.

Berdasarkan Tabel 7, kuat tarik belah untuk beton kontrol mutu tinggi mencapai 3,73 MPa. Untuk beton mutu tinggi dengan bahan-tambah serbuk kaca, nilai kuat tarik belah maksimum terjadi pada variasi BSK2 sebesar 3,91 MPa, sedangkan untuk kuat tarik belah minimum berada pada variasi BSK4 sebesar 2,88 MPa. Kuat tarik belah beton cenderung konstan dan tidak mengalami perubahan ekstrim. Kuat tarik belah beton secara umum berkisar antara 8-12% dari nilai kuat tekannya (Kosmatka dkk. 2002). Perbandingan antara kuat tekan beton dengan kuat tarik belah beton dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Perbandingan nilai kuat tarik belah

Pengujian modulus elastisitas

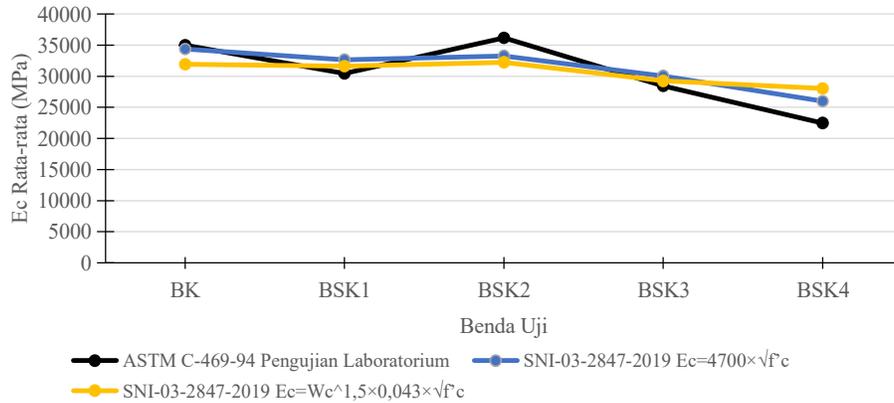
Pengujian ini dilaksanakan setelah benda uji silinder berukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm berumur 28 hari. Pengujian dilakukan dengan menekan silinder dengan mesin *Compression Testing Machine* (CTM). Pengujian di laboratorium dilakukan dengan pembacaan *dial gauge* digital yang terhubung dengan kompressiometer. Analisis modulus elastisitas juga dilakukan secara teoritis (empirik) dengan pendekatan berat volume dan kuat tekan yang dicapai. Hasil pengujian modulus elastisitas sesuai dengan ASTM C-

469-94 dalam laboratorium dapat dilihat pada Tabel 8. Hasil analisis modulus elastisitas secara teoritis (empirik) menggunakan SNI-2847-2019 menggunakan pendekatan berat volume dan kuat tekan yang dicapai dapat dilihat pada Tabel 9. Komparasi hasil modulus elastisitas berdasarkan ASTM C-469-94 dalam laboratorium dengan pendekatan secara teoritis dapat dilihat pada Tabel 10. Grafik perbandingan modulus elastisitas antara pengujian di laboratorium dengan pendekatan secara teoritis dapat dilihat pada Gambar 2.

Perhitungan modulus elastisitas menggunakan ASTM C-469-94 menunjukkan hasil yang berbeda dibandingkan dengan SNI-03-2847-2019. Hal ini dikarenakan ASTM C-469-94 menggunakan data langsung saat pengujian di laboratorium. Sedangkan SNI-03-2847-2019, data modulus elastisitas diperoleh dari pendekatan nilai kuat tekan dan berat volume beton. Berdasarkan metode SNI-03-2847-2019 dengan mendasarkan kuat tekan dan metode ASTM C-469-94, memperoleh modulus elastisitas tertinggi terjadi pada variasi BSK2. Sedangkan pada metode SNI-03-2847-2019 dengan memperhitungkan berat volume, modulus elastisitas tertinggi dicapai oleh variasi beton kontrol (BN).

Tabel 8. Hasil pengujian modulus elastisitas di laboratorium (ASTM C-469-46)

No. tipe sampel	E_c (MPa)	E_c rerata (MPa)
1. BN	39315,14	34998
	38382,70	
	27296,38	
2. BSK1	32856,61	30452
	30440,15	
	28059,42	
3. BSK2	37816,33	36165
	34931,72	
	35746,77	
4. BSK3	29907,68	28464
	29765,66	
	25718,45	
5. BSK4	20601,85	22479
	21875,15	
	24959,62	



Gambar 2. Perbandingan hasil modulus elastisitas

Tabel 9. Hasil analisis modulus elastisitas secara teoritis (SNI-2847-2019)

No tipe sampel	W_c (kg/m ³)	f'_c (MPa)	$E_c = 4700 \sqrt{f'_c}$		$E_c = W_c^{1.5} \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	
			E_c (MPa)	Rerata (MPa)	E_c (MPa)	Rerata (MPa)
1. BK	2419,32	46,06	31898,27	31917,74357	34727,80	34384,80
	2398,76	46,56	32070,81		34471,62	
	2388,99	45,73	31784,15		33954,98	
	2297,15	44,97	31518,23		31748,06	
2. BSK1	2380,30	46,28	31975,20	31619,95644	33972,73	32651,24
	2327,96	44,54	31366,44		32232,94	
	2350,08	46,38	32007,98		33653,29	
	2332,86	48,33	32672,82		33387,36	
3. BSK2	2312,22	46,50	32051,22	32244,00895	32774,45	33271,70
	2307,79	39,09	29386,51		30629,73	
	2333,10	38,18	29042,76		29944,00	
	2311,47	38,81	29281,53		29557,89	
4. BSK3	2134,15	34,14	27461,29	29236,93569	24770,16	30043,87
	2199,76	36,44	28373,17		26781,94	
	2186,72	36,06	28373,17		26405,54	
5. BSK4	2199,76	36,44	28373,17	28069,21041	26781,94	25985,88
	2186,72	36,06	28373,17		26405,54	

Tabel 10. Komparasi modulus elastisitas secara pengujian dan teoritis (empirik)

No tipe sampel	Variasi campuran (%)			Slump (mm)	Kuat tekan (MPa)	Kuat tarik belah (MPa)	Modulus elastisitas (MPa)		
	Serbuk kaca	Silica fume	Superplasticizer				$E_c = 4700 \sqrt{f'_c}$	$E_c = W_c^{1.5} \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	ASTM C-469-94
1. BK	0	10	0,3	100	46,12	3,73	31917,94	34834,8	34998,07
	0	10	0,3						
	0	10	0,3						
2. BSK1	2,5	10	0,3	100	45,26	3,62	31619,96	32651,24	30452,06
	2,5	10	0,3						
	2,5	10	0,3						
3. BSK2	5	10	0,3	96	47,07	3,91	32244,01	33271,7	36164,95
	5	10	0,3						
	5	10	0,3						
4. BSK3	7,5	10	0,3	92	38,7	3,22	29236,94	30043,87	28463,93
	7,5	10	0,3						
	10	10	0,3						
5. BSK4	10	10	0,3	90	35,55	2,88	28069,21	25985,88	22478,87
	10	10	0,3						
	10	10	0,3						

Kesimpulan

Dari pembahasan hasil penelitian tersebut di atas dapat disimpulkan secara ringkas berikut ini.

1. Rerata kuat tekan beton kontrol variasi 1 (BN) mencapai 46,12 MPa, termasuk kategori beton mutu tinggi menurut SNI 2847-2019 dan melebihi dari mutu beton rencana (45 MPa). Kuat tekan maksimum terjadi pada variasi 2 (BSK2), menghasilkan 47,07 MPa. Kuat tekan paling rendah ada pada variasi 4 (BSK4), sebesar 35,55 MPa.
2. Kuat tarik belah maksimum dicapai oleh variasi 2 (BSK2) dengan rerata 3,91 MPa. Sedangkan kuat tarik belah terendah terjadi pada variasi 4 (BSK4) dengan rerata-rata 2,88 MPa.
3. Modulus elastisitas mengalami perbedaan antara 2 metode yang digunakan disebabkan karena metode ASTM C-469-94 didasarkan pada data hasil pengujian laboratorium, sedangkan metode SNI 2847-2019 menggunakan cara pendekatan (empirik) dari kuat tekan dan berat volume.
4. Komposisi optimum penggunaan serbuk kaca sebagai *filler* dicapai senga 5% dari berat semen.

Daftar pustaka

- Afif, A. 2019. *Pengaruh Abu Batu Sebagai Substitusi Agregat Halus dan Penambahan Superplasticizer Terhadap Karakteristik Beton Mutu Tinggi*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Aliabdo, A., A., Abd Elmoaty, M., & Aboshama, A. Y. 2016. Utilization of Waste Glass Powder in The Production of Cement and Concrete. *Construction and Building Materials*. 124. 866-877.
- American Society for Testing and Materials. 1994. C-469-94. *Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*. Annual Book of ASTM Standards.
- Apriwelni, S., dan Wirawan, N. B. 2020. Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi dengan Memanfaatkan *Fly ash* dan Bubuk Kaca Sebagai Bahan Pengisi. *Jurnal Saintis*. 20(01). 61-68.
- Badan Standardisasi Nasional. 2000. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal (SNI 03-2834-2000)*. Jakarta
- Badan Standardisasi Nasional. 2000. *Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi dengan Semen Portland dengan Abu Terbang (SNI 03-6468-2000)*. Jakarta
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002)*. Jakarta
- Badan Standardisasi Nasional. 2004. *Semen Portland (SNI 15-2049-2004)*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus (SNI 1670:2008)*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional, 2011. *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder (SNI 1974-2011)*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2011. *Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium (SNI 2493:2011)*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2014. *Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Belah Spesimen Beton Silinder (SNI 03-2491-2014)*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan (SNI 03-2847-2019)*. Jakarta.
- Darmawan, A., Bestyan., dan Gunawan. 2007. Pengaruh Substitusi Kaca Terhadap Kuat Tekan dan Suhu Reaksi Semen Portland. *J. Kim. Sains & Apl.* 10(3). 86-92.
- Du, H., dan Tan, K. H. 2016. Properties of High-Volume Glass Powder Concrete. *Cement and Concrete Composites*.
- Grażulytė, J., Vaitkus, A., Šernas, O., dan Čygas, D. 2020. Effect of *Silica fume* on High-strength Concrete Performance. *5th World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engi-*

- neering (CSEE'20). 162. 1-6.
- Hadori, A., Pranoto, Y., & Sutarto, T. E. 2015. Pengujian Kuat Tekan Beton dengan Penambahan *Fly ash* dan Admixture *Superplasticizer*. *Jurnal Inersia*. 7(1). 50-55.
- Hanafiah, N. 2011. *Pengaruh Penambahan Bubuk Kaca Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen dengan Variasi 2%, 4%, 6%, dan 8% Terhadap Kuat Tekan dan Nilai Slump*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Kosmatka, S. H. et al. 2002. *Design and Control of Concrete Mixtures*. 14th ed. Portland Cement Association. Illinois.
- Lukar, S. E. C., Pandaleke, R., dan Wallah, S. 2020. Pengujian Modulus Elastisitas Pada Beton dengan Menggunakan Tras Sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus. *Jurnal Sipil Statik*. 8(1). 33-38.
- Manurung, B. J. O. F., dan Hermawan, O. H. 2006. *Pengaruh Kadar Lumpur pada Agregat Halus dalam Pembuatan Mix design Beton*. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Mulyati., dan Arkis, Z. 2020. Pengaruh Metode Perawatan Beton Terhadap Kuat Tekan Beton Normal. *Jurnal Teknik Sipil ITP*. 7(2). 78-84.
- Mulyono, T. 2004. *Teknologi Beton*. Andi. Yogyakarta
- Nawy, E. G., 1990. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Nevile, A. M., dan Brooks, M. M. 1987. *Concrete Technology*. 2nd ed. Pearson. Essex.
- Nst, M. A. R. 2017. *Pengaruh Penambahan Silica fume dan Superplasticizer pada Self Compacting Concrete*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Product Data Sheet Sika Viscocrete-3115N*. 2016. PT. Sika Indonesia. Bekasi.
- Rahamudin, R. H., Manalip, H., dan Mondoringin, M. 2016. Pengujian Kuat Tarik Belah dan Kuat Tarik Lentur Beton Ringan Beragregat Kasar (Batu Apung) dan Abu Sekam Padi Sebagai Substitusi Parsial Semen. *Jurnal Sipil Statik*. 4(3). 255-231.
- Rizaty, M. A. 2020. Mayoritas Sampah Nasional dari Aktivitas Rumah Tangga pada 2020. <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2021/07/29/mayoritas-sampah-nasional-dari-aktivitas-rumah-tangga-pada-2020>.